番石榴生育需水量調查

高碧霜[1]、許健輝[2]、邱國棟[1]、謝鴻業[1]

[1]農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系
[2]農業部農業試驗所農業化學組

摘要

區域水資源管理是永續農業的關鍵之一，因此了解水資源的使用對其有效管理至關重要。本研究聚焦於調查番石榴的蒸發散量，量化其水分需求，為臺灣南部區域水資源管理提供基礎數據。試驗於2022 年8 月至2025 年5 月在高雄進行，調查番石榴蒸發散、土壤質地和滲漏等，使用水氣通量儀 (LICOR-7500DS) 觀測全年蒸發散量，旨在建立臺灣南部之番石榴全年度各生育期之需水樣態與用水量資料。本試區土壤性質為：0–150 cm 土層為砂質壤土或壤土、0–40 cm 土壤的入滲速率為2–26 mm·hr^{-1} 之間、有效水分含量為234 mm·m^{-1}，具排水快和高透氣性好的性質。番石榴之作物蒸發散量 (crop evapotranspiration, ET_C) 為1.51–3.84 mm·day^{-1}，潛勢能蒸發散量 (reference evapotranspiration, ET_0) 為3.04–6.49 mm·day^{-1}，作物係數 (crop coefficient, K_C)為0.42–0.60。結果表明，番石榴的蒸發散量隨季節變化，顯示其灌溉量需進行季節性調節，作物係數在乾旱或濕潤的不同年份間保持穩定，顯示番石榴的用水量基本保持穩定，本資料可用在政府調度區域水資源上。本研究後續將數據持續整合至智慧灌溉系統，優化灌溉策略，以提升用水效率。

關鍵詞： 番石榴、潛勢能蒸發散量、作物蒸發散量、作物係數

前言及前人研究

臺灣雨水平均每年約2,500 公釐，與聯合國公布的176 個國家相比，排名13。然而因為調蓄設施容量有限，加上山高坡陡、河流短急、人口稠密等因素，平均每人可分配到的水資源僅約世界平均值的三分之一。且近年來在全球暖化趨勢下，極端氣候頻仍，由國家災害防救科技中心資料可知臺灣的豐枯水期降雨愈趨不均，推估未來降雨量方面，頻度下降，強度上升；而水分為植物生長重要的限制因子，各種植物對水分逆境的耐受及調適能力差異極大，營養生長及生殖生長皆受水分因子限制，且果樹為多年生作物，旱澇不均除影響當年度果樹生產情形外，亦影響來年果樹生長、產量及品質等。為應對氣候變遷對降雨模式和水資源可得性的影響，發展適應性農業管理策略至關重要 (Howden *et al.*, 2007)。

每個作物有其耗水特性，且會隨著不同地區、植株生育時期與季節而改變，為適當 灌溉該作物，了解作物特性是很重要的準備工作。番石榴 (*Psidium guajava*) 為桃金孃科番石榴屬常綠果樹，113 年的農情調查資料顯示在臺灣生產面積約8,029 公頃，為前十大的重要果樹之一。番石榴為全年皆可生產之果樹，其水分管理十分重要，如何精準分配水資源與提高水資源生產效率更是整體產業發展的瓶頸之一。

在農業操作中，灌溉是向土壤施加水分以改善作物生長、維護景觀和恢復乾旱地區退化土壤的方法 (Gavali *et al.*, 2016)，而灌溉量取決於種植作物的需求以及當地可用水資源量 (Riediger *et al.*, 2016)。缺水會影響植物正常發育，而灌溉過量則會降低根部呼吸、影響根部生長，並導致土壤退化問題，如地表徑流、土壤侵蝕和養分淋溶等 (Grashey-Jansen, 2014)。

蒸發散 (Evapotranspiration, ET) 指的是蒸發作用 (土壤表面水分蒸發到空氣中)加上蒸散作用 (植物透過葉片將水分釋放到空氣中) 的總和。而潛勢能蒸發散量 (ET_0) 是指在最佳生長條件下，一片廣闊、均勻、綠色、高度約0.12 公尺、完全覆蓋土壤且水分充足的草本植物所產生的蒸發散量，可以依據Penman-Monteith 之蒸發散量公式及氣象資料求取潛勢能蒸發散量 (Allen *et al.*, 2006)。不同於由氣象資料所估算之ET_0 值，作物蒸發散量 (ET_C) 則是以實際田間之蒸發散量，包含土壤之蒸發量及作物葉片之蒸散量所組成，受作物不同生育階段之葉面積及土壤水分狀態之影響；可利用通量計實測番石榴果園之實際作物蒸發散量變化。作物係數 (K_C) 為作物蒸發散量 (ET_C) 除以潛勢能蒸發散量 (ET_0) 所得之值，不同作物及不同生長期會有不一樣的值。番石榴的有關蒸發散量的資料不多，B.K.Singh 等人 (2007) 在印度以種植在砂質壤土的KG / Kaji 品種試驗，使用Penman Monteith 方法估計潛勢能蒸發散量 (ET_0)，不同月份之ET_0 落在2.78–6.77 mm·day^{-1} 之間。A.E.Elnamas (2020) 在埃及以種植在黏土的四年生植株試驗，調查兩個生長期 (2017 / 2018、2018 / 2019)，數據顯示潛勢能蒸發散量受季節影響，夏增冬減，數值落在1.48–5.73 mm·day^{-1} 之間，作物蒸發散量 (ET_C) 趨勢亦同；兩者最高值皆落在6–7 月，最小值為12 月；綜上兩篇文章，番石榴的作物係數 (K_C) 落在0.55–0.86 間。

國內有關番石榴水分需求之研究顯示，土壤性質對蒸發散量具有顯著調控作用。柯立祥 (1997) 指出，泰國拔豐產之適當土壤水分張力應維持在 20–40 kPa (20–40 centibar (cb)) 之間，此區間可視為維持植株最大蒸散速率之水分操作門檻。另一方面，林子文 (2016) 以二年生盆植珍珠拔為材料，發現當土壤張力達-55 kPa 時，葉片水勢降至-2.0 MPa 且相對含水量 (RWC) 為 89%，植株進入暫時萎凋點。此數據在蒸發散估算模型中具有重要意義，可為定義土壤水分修正係數 (Soil Water Stress Coefficient, K_S) 之臨界參數。具體而言，當土壤張力超過55 kPa 時，根部吸水阻力與氣孔阻抗增加，導致實際蒸發散量開始顯著低於作物蒸發散量 (ET_C)。這些生理與物理參數的整合，有助於在氣候變遷情境下，更精準地推

估番石榴在乾旱脅迫下的水分消耗特徵與灌溉需求。

然而，儘管上述研究建立了初步的參數，但隨著氣候變遷、新品種演替及地區土壤差異，現有之數據在田間實際應用上仍存在落差。特別是在不同土層結構與微氣候條件下，已難以精準對接當前的農業生產環境，導致農民多仍依賴傳統經驗修正灌溉量，缺乏標準化與數據化的智慧灌溉基準。

總而言之，為因應未來乾旱連續天數增加，以及降雨季節移動等環境變化，除積極進行節水技術研發外，結合智慧科技之精準配水技術研發亦為重要課題，同時相關政策調整更須基於研究所得數據與相關水情資訊進行綜合研判與決策。

調查方法

本試驗是以水氣通量儀紀錄作物蒸發散量 (ET_C) 以氣象資料使用FAO CROPWAT 8.0 程式計算潛勢能蒸發散量 (ET_0)，本程式計算使用之參數為最低溫 (min temp)、最高溫 (max temp)、濕度 (humidity)、風速 (wind) 及日照 (sun) 來估算ET_0，並統整出番石榴不同生育期之作物係數，於高雄市岡山區李明勝班長田間進行 (約略經緯度：22.80, 120.26)，該田區之番石榴株高約2.2–2.5 公尺，樹幅大小接近，為生產中之果園。水氣通量儀於2022 年7 月12 日架設完成 (圖1) 並開始進行數據調查。

圖 1. 水氣通量儀 (左圖) 及調查果園 (右圖)。

Fig.1. LICOR-7500DS (left) and experimental orchard (right).

結果及討論

表 1 試區自 2022 年 7 月 12 日起至 2025 年 5 月止，每月潛勢能蒸發散量 (ET0)、作物蒸發散量 (ETC) 與作物係數 (KC) 之值，結果顯示，潛勢能蒸發散量介於 3.04–6.49 mm‧day-1 之間、作物蒸發散量介於 1.51–3.84 mm‧day-1 之間、作物係數介於 0.35–0.6 之間，與其他作物相比，因常綠果樹的葉片數全年差異相對較小，全年的蒸發散量變動不大，主要的差異與氣候變化曲線類似，溫度高的季節，蒸發散量大，溫度低的季節，蒸發散量小，ET0 與 ETC 的趨勢相同。而相較之下，本研究計算之作物係數與埃及 (A.E.Elnamas, 2020)、印度 (Singh et al.,2007) 的數值 (兩者數值介於 0.55–0.86) 較接近，但季節的趨勢有點差異；而明顯低於美國夏威夷 (Fares, 2008) 的數值 (0.8–1.0)，顯示番石榴的作物係數可能因物種、微氣候、栽培方式等因素具有地區特性。

本試驗執行至今，每個月份皆有 2 重複以上，數據顯示番石榴的作物係數隨季節變化而變化，穩定程度高，全年的變化小。在實務灌溉應用上，建議使用者依其灌溉硬體設備與操作成本進行彈性調整：若追求精準管理，使用自動化控制或需極大化用水效率時，建議參照表 1 提供之月別動態作物係數以反映微氣候波動；若受限於硬體設備或人工操作頻率，則可採用全年平均值作為基準，以簡化灌溉排程並維持基礎管理品質。

表 1.‘珍珠拔’ 番石榴於高雄岡山試區潛勢能蒸發散量 (ET_0)、作物蒸發散 (ET_C) 與作物係數 (K_C)。

Table 1. The reference evapotranspiration (ET_0), crop evapotranspiration (ET_C) and crop coefficient (K_C) of ‘Jen-Ju Bar’ guava in Kaohsiung.

Year	2022		2023		2024		2025	
Month	ET_0	ET_C	ET_0	ET_C	ET_0	ET_C	ET_0	ET_C
	mm·day^{-1}	mm·day^{-1}	mm·day^{-1}	mm·day^{-1}	mm·day^{-1}	mm·day^{-1}	mm·day^{-1}	mm·day
Jan			3.21	1.61	3.21	1.51	3.15	1.56
Feb			3.95	1.79	3.87	2.11	3.24	1.52
Mar			4.89	2.19	4.88	2.05	4.68	2.04
Apr			5.73	2.43	5.80	2.20	5.54	1.98
May			6.13	2.61	6.23	2.55	6.31	2.85
Jun			6.37	3.16	6.49	3.84		
Jul	6.29	3.36	6.46	3.61	6.44	3.60		
Aug	6.06	3.64	6.02	3.22	5.96	3.10		
Sep	5.46	3.08	5.42	3.20	5.54	3.36		
Oct	4.67	2.29	4.69	2.61	4.50	2.61		
Nov	3.81	1.65	3.81	2.01	3.70	2.07		
Dec	3.1	1.55	3.04	1.53	3.12	1.49		

土壤調查部分的試驗由農試所農化組協助，本試驗田區0–150 cm 土層為壤土或砂質壤土，pH為6.1–6.84、陽離子交換容量 (CEC) 5.78–11.22 cmol / kg、有機質1.31–5.25%，犁底層不明顯。0–40 cm 土壤的入滲速率為2–26 mm / hr 之間，有效水分含量為234 mm / meter。

關於土壤性質對蒸發散之影響,本試驗區土壤質地以壤土及砂質壤土為主，兼具良好之通氣性與持水能力。根據 Libohova 等人 (2018) 之研究，土壤有機質對有效持水量有顯著正向影響，本區較高之有機質含量配合AWC 達234 mm / meter，顯示該土層具優異之水分緩衝能力，有助於穩定供應番石榴根系所需水分，使其能維持穩定的作物蒸發散量，減少水分脅迫對蒸散之影響。

此外，良好的土壤通透性與無犁底層之環境，有利於多年生果樹建立深廣根系以吸收土體水分;而適宜的土壤pH 值與CEC 值則有利於養分吸收與利用 (Kalcsits *et al.*, 2020)，進而促進植株發育並維持充足且穩定的葉面積。綜合上述土壤物理與化學特性，此為本研究觀測到K_C 值在不同季節間表現相對穩定、受環境限制程度較低之關鍵因子。

結果表明，番石榴的蒸發散量隨季節變化，顯示其灌溉量可進行季節性調節，作物係數在乾旱或濕潤的不同年份間保持穩定，顯示本資料可在政府調度區域水資源時，精確評估番石榴的用水量。本研究後續將數據持續整合至智慧灌溉系統，優化灌溉策略，以提升用水效率，並為熱帶地區水資源管理提供參考。

謝辭

感謝農業部支持研究經費，研究過程承蒙高雄市岡山區李明勝先生與李敬善先生提供番石榴試驗場域，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. 2020. 番石榴栽培手冊.行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所編印.
2. 林子文. 2016. 乾旱、遮陰、葉果比及結果部位對‘珍珠拔’番石榴植株生長、生理與果實品質之影響. 國立中興大學園藝學系碩士論文.
3. 柯立祥. 1997. 土壤水分對番石榴果實產量植品質之影響.提升果樹產業競爭力研討會專集 I.p231–237.
4. 農業部農糧署農情資源調查網 (https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)
5. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements—FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO 300, D05109.
6. Elnamas,A.E. 2020. Effect of irrigation systems and water regime on growth, yield components, water use efficiency and water productivity of guava (*Psidium guavaja* L.) grown in clay soil. Alexandria Science Exchange Journal, vol.41,259–273.
7. Fares, A.. 2008. Water Management Software to Estimate Crop Irrigation Requirements or Consumptive Use Permitting In Hawaii. Honolulu, HI: Department of Land and Natural Resources.
8. Gavali, M., B. Dhus and A. Vitekar. 2016. A smart irrigation system for agriculture based on wireless sensors. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6893–6899.
9. Grashey-Jansen, S.. 2014. Optimizing irrigation efficiency through the consideration of soil hydrological properties–examples and simulation approaches. Erdkunde Arch. Of Sci. Geogr., 33–48.
10. Kalcsits, L., E. Lotze, M. Tagliavini, K. D. Hannam, T. Mimmo, D. Neilsen, G.

Neilsen, D. Atkinson, E. Casagrande Biasuz, L. Borruso, S. Cesco, E. Fallahi, Y. Pii and N. A. Valverdi. 2020. Recent Achievements and New Research Opportunities for Optimizing Macronutrient Availability, Acquisition, and Distribution for Perennial Fruit Crops. Agronomy, 10(11), 1738.

11. Libohova, Z., C. Seybold, D. Wysocki, S. Wills, P. Schoeneberger, C. Williams and P. R. Owens. 2018. Reevaluating the effects of soil organic matter and other properties on available water-holding capacity using the National Cooperative Soil Survey Characterization Database. Journal of Soil and Water Conservation, 73(4), 411–421.
12. Riediger, J., B. Breckling, N. Svoboda and W. Schröder. 2016. Modelling regional variability of irrigation requirements due to climate change in Northern Germany. Science of The Total Environment. Vol. 541 Pages 329–340
13. Singh, B.K., K.N. Tiwari, S.K. Chourasia and S. Mandal. 2007. Crop Water Requirement of Guava (Psidium guajava L.) cv. KG／KAJI under Drip Irrigation and Plastic Mulch. Acta Hortic. vol. 735, 399–405.

Measurement of Guava Evapotranspiration

Gao Bi-Shuang[1], Chien-Hui Syu[2], Kuo-Dung Chiou[1], Hung-Yeh Hsieh[1]

[1] Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

[2] Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Regional water resource management is a critical component of sustainable agriculture, and understanding water use is fundamental to effective management. This study, focusing on evapotranspiration, quantifies water requirements of guava to provide baseline data for regional water resource management in southern Taiwan. From August 2022 to May 2025, data were collected in Kaohsiung to examine guava evapotranspiration, soil texture, and infiltration rate, using a LICOR-7500DS system to monitor annual evapotranspiration, with the aim of establishing water demand characteristics for guava cultivation in southern Taiwan. Soil properties in the study area in the 0-150 cm layer include sandy loam or loam. The infiltration rate in the 0-40 cm soil layer ranges from 2-26 $mm \cdot hr^{-1}$, with an available water capacity of 234 $mm \cdot m^{-1}$, indicating rapid drainage and high aeration. Guava crop evapotranspiration (ET_C) ranges from 1.51-3.84 $mm \cdot day^{-1}$, potential evapotranspiration (ET_0) from 3.04-6.49 $mm \cdot day^{-1}$, and crop coefficient (K_C)from 0.42 to 0.6. Results indicate that guava evapotranspiration varies seasonally, suggesting that seasonal irrigation adjustments for guava are feasible. Furthermore, K_C remains stable across years under dry or wet conditions, indicating that these data can be used by the government to precisely estimate guava water requirements for regional water resource management. This study continues to integrate these data into smart irrigation systems to optimize irrigation strategies, thereby enhancing water use efficiency.

Key words: guava, Evapotranspiration (ETc), Crop Coefficient (Kc).